Con riferimento al circuito illustrato in Fig. 1(a) e ai valori assegnati dei parametri si risponda ai seguenti quesiti:

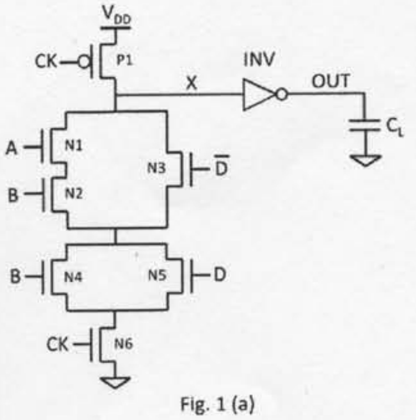


Fig. 1 (a)

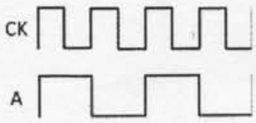


Fig. 1 (b)

Parametri del problema

V_{DD}=1V; β'_n=200μA/V^2; β'_p=100μA/V^2; V_{TN}=0.25V; V_{TP}=-0.25V; L_{min}=0.09μm; C_L=4fF; C_{OX}=23fF/μm^2

S_{n_INV}= 3; S_{p_INV} = 6; S_{P1} = 4;

$S_{N1} = S_{N2} = S_{N3} = S_{N4} = S_{N5} = S_{N6}$ =7

1. **Determinare la funzione logica realizzata al nodo OUT, e identificare la famiglia logica di appartenenza del circuito in Fig. 1(a).**
2. **Determinare il tempo di salita e di discesa al nodo OUT nel caso peggiore. A tale scopo si considerino i transitori esauriti al 90% del valore della escursione di tensione, e si assumano i transitori al nodo X e al nodo OUT completamente disaccoppiati.**
3. **Calcolare la potenza dinamica media consumata da tutto il circuito in Fig. 1(a) (circuito che realizza l'uscita X + invertitore INV) quando CK commuta con una frequenza f_{CK} = 400MHz, B=D=V_{DD}, e A varia in forma periodica con una frequenza f_A = 200MHz (come rappresentato in Fig. 1(b)).**

1) $X = \overline{(A \cdot B + \overline{D}) \cdot (B + D)}$

Quimdi :

$$OUT = \overline{X} = (A \cdot B + \overline{D}) \cdot (B + D)$$

2)

$$t_{f_{OUT\,90\%}} = t_{r_{X,\,90\%}} + t_{f_{INV\,90\%}} = \frac{2\,C_X}{\beta'_p\, S_{p_1}} \cdot F_{p\,90\%} + \frac{2\,C_L}{\beta'_m\, S_{m_{INV}}}\, F_{m\,90\%}$$

$$C_X = C_{ox}\, L^2_{mim}\,(S_{m_{INV}} + S_{p_{INV}}) = 23 \cdot \frac{10^{-15}}{\cancel{10^{-12}}} \cdot 8{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot \cancel{10^{-12}} \cdot 9 =$$

$$= 1{,}6767\ fF$$

$$F_{m\,90\%} = F_{p\,90\%} = 2{,}203\ V^{-1}$$

Quimdi :

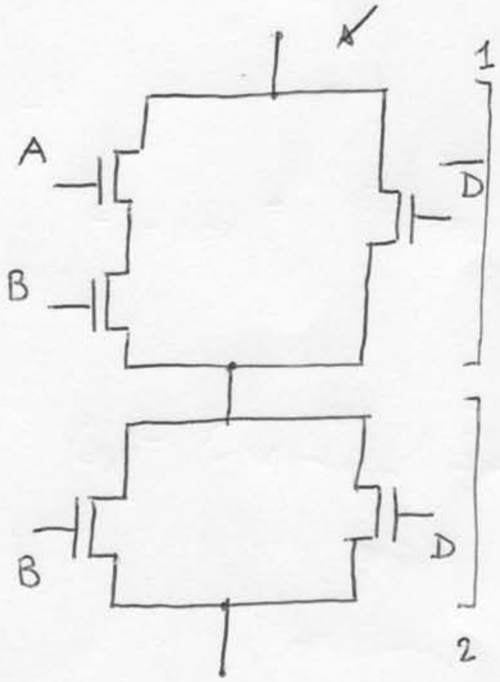
$$t_{f_{OUT,\,90\%}} = \frac{2 \cdot 1{,}6767 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 4} \cdot 2{,}203 + \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-15}}{200 \cdot 10^{-6} \cdot 3} \cdot 2{,}203 =$$

$$= 18{,}468 \cdot 10^{-12} + 29{,}373 \cdot 10^{-12} = 47{,}841\ ps$$

$$t_{r\,OUT,90\%} = t_{f\,X,90\%} + t_{r\,INV,90\%} = \frac{2C_X}{\beta'_m S_{PD}} \cdot F_{m\,90\%} + \frac{2C_L}{\beta'_p S_{P\,INV}} F_{p\,90\%}$$

Determino il caso peggiore per la rete di PULL-DOWN

FATTORE DI FORMA EQUIVALENTE $S^* = \frac{S_1^* S_2^*}{S_1^* + S_2^*}$



impossibile 3 NMOS IN SERIE

$A=1 \quad B=1 \quad D=1 \Rightarrow \quad S_1^* = \frac{S_m}{2}$

$S_2^* = 2S_m$

$$S^* = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot S_m^2}{\frac{5}{2} S_m} = \frac{2}{5} S_m$$

$A = 1 \quad B = 1 \quad D = 0 \Rightarrow$ $\cancel{S_1^* = \frac{\frac{S_m}{2} S_m}{\frac{S_m}{2} + S_m} = \frac{\frac{1}{2} S_m^2}{\frac{3}{2} S_m} = \frac{S_m}{3}}$

$$S_1^* = \frac{S_m}{2} + S_m = \frac{3}{2} S_m$$

$$S_2^* = S_m$$

$$S^* = \frac{\frac{3}{2} S_m \cdot S_m}{\frac{3}{2} S_m + S_m} = \frac{\frac{3}{2} S_m^2}{\frac{5}{2} S_m} = \frac{3}{5} S_m$$

$A = 0 \quad B = 1 \quad D = 0 \Rightarrow \quad S^* = \frac{S_m}{2}$

il caso peggiore è $A = 1 \quad B = 1 \quad D = 1$

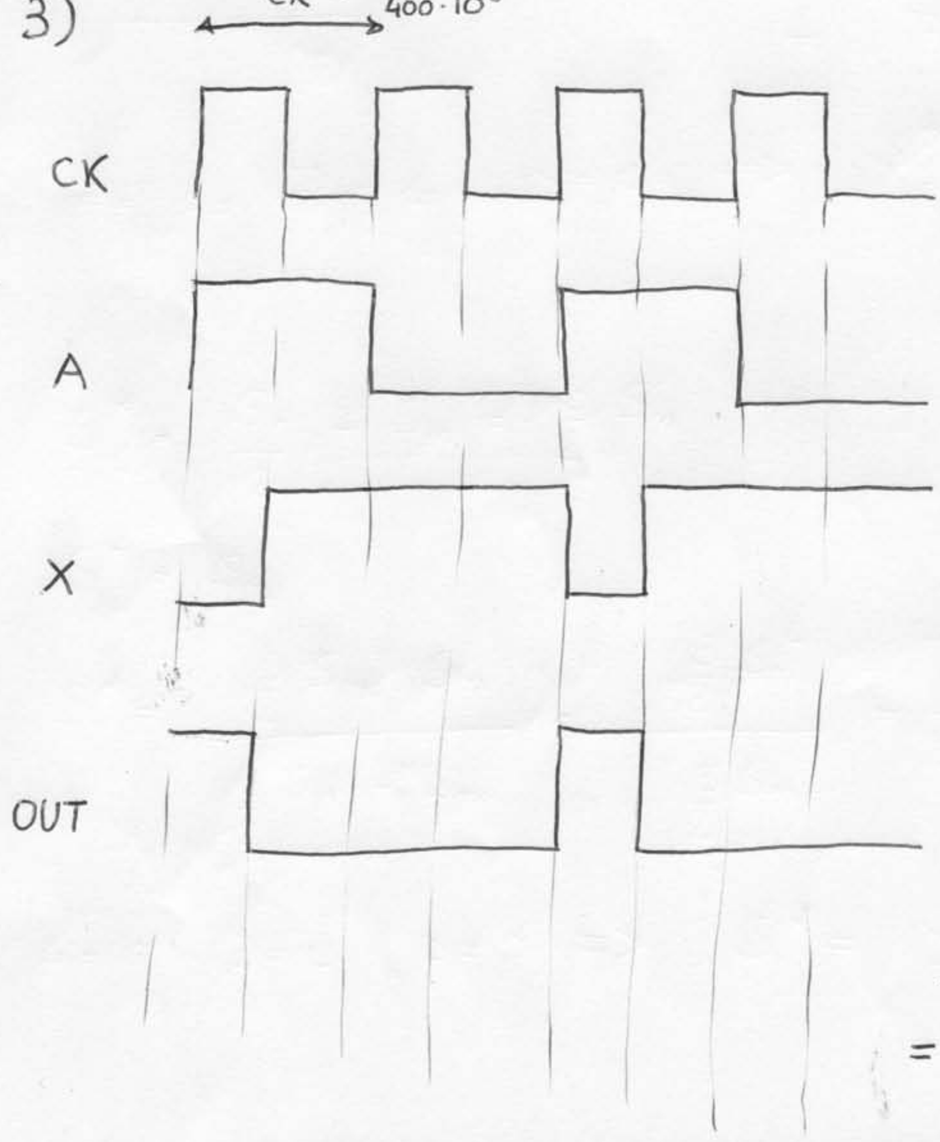
$$S_{PD} = \frac{S^* \cdot S_m}{S^* + S_m} = \frac{\frac{2}{5} S_m \cdot S_m}{\frac{2}{5} S_m + S_m} = \frac{\frac{2}{5} S_m^2}{\frac{7}{5} S_m} = \frac{2}{7} S_m$$

Quindi:

$$t_{r_{OUT,90\%}} = \frac{2 \cdot 1,6767 \cdot 10^{-15}}{200 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2}{7} \cdot 7} \cdot 2,203 + \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 6} \cdot 2,203 =$$

$$= 18,468 \cdot 10^{-12} + 29,373 \cdot 10^{-12} = 47,841 \text{ ps}$$

3) $T_{CK} = \frac{1}{400 \cdot 10^6} = 2,5 \text{ ms}$



in $2\,T_{CK}$ si ha il caricamento da parte di V_{DD} dei nodi X e OUT una sola volta

$E_{(1)}$ = energia erogata da V_{DD} per il caricamento di X =

$= C_X V_{DD}^2$

$E_{(2)}$ = energia erogata da V_{DD} per il caricamento di OUT =

$= C_L V_{DD}^2$

$P_{DISS} = (E_{(1)} + E_{(2)}) \cdot f_A =$

$= (C_L + C_X) V_{DD}^2 f_A =$

$= 5,6767 \cdot 10^{-15} \cdot 1^2 \cdot 200 \cdot 10^6 =$

$= 1,1353\ \mu W$